

ANALISA PORTAL GABLE MENGGUNAKAN METODE CONSISTENT DEFORMATION, SLOPE DEFLECTION DAN MOMENT DISTRIBUTION

**Chandra Hansun Tanudjaja,
S.E. Wallah, R.S. Windah, W. J. Tamboto**
Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi

ABSTRAK

Perhitungan yang paling dasar untuk perencanaan suatu struktur bangunan adalah mencari besar gaya-gaya dalam yang bekerja pada struktur tersebut. Jika perhitungan tersebut dilakukan secara manual sangat rumit. Seiring dengan perkembangan kemajuan teknologi, maka penggunaan komputer membuat perhitungan dapat menjadi lebih mudah.

Struktur yang ditinjau dalam penelitian ini adalah Portal Gable dengan Satu Arah Goyangan dan Portal Gable dengan Dua Arah Goyangan. Metode-metode yang dipakai dalam menganalisa adalah Consistent Deformation Method (Cara Utuh dan Cara Potong) dan Slope Deflection Method dengan bantuan program Maple, serta Moment Distribution Method dengan bantuan spreadsheet Microsoft Excel. Metode-metode ini dipilih karena ketiganya sama-sama menggunakan cara eksak, dimana kemungkinan error yang terjadi sangat kecil yaitu hanya disebabkan oleh round of error (ROE) yaitu kesalahan oleh pembulatan atau pemotongan desimal dan banyaknya proses penyelesaian persamaan.

Dengan memasukkan sembarang nilai beban vertikal, bentang, tinggi kolom dan kekakuan pada program untuk setiap portal gable, bisa diperoleh besarnya gaya-gaya ujung elemen dan rotasi serta translasi di titik simpul sampai dengan bidang gaya dalam. Perbandingan hasil perhitungan gaya-gaya ujung, rotasi dan translasi pada CDM, SDM dan MDM sangat dekat yakni berbeda tidak melebihi 2.5E-05%. Pada CDM Cara Utuh kemungkinan error yang terjadi bisa sedikit lebih besar karena jumlah persamaan yang harus diselesaikan jauh lebih banyak.

Kata kunci: *portal gable, gaya gaya dalam, consistent deformation method, slope deflection method, moment distribution method*

PENDAHULUAN

Portal adalah suatu bangunan struktur yang terdiri dari satu atau beberapa kolom dan satu atau beberapa balok yang simpulnya saling dihubungkan secara sambungan kaku.

Portal *gable* adalah portal dengan minimal terdapat satu atau beberapa balok *rafter*. Balok *rafter* adalah balok dengan kondisi mempunyai kemiringan (mempunyai sudut elevasi atau tidak horizontal).

Sambungan antara kolom dengan perletakan bisa secara sendi (tidak menahan momen) atau jepit (menahan momen) atau bisa juga rol (tidak menahan momen dan tidak menahan gaya horizontal). Perletakan atau sering juga disebut tumpuan adalah bagian dari struktur (bagian bawah) dimana struktur tersebut diletakan.

Beberapa metode yang dapat digunakan untuk menganalisa Portal *Gable*. Namun, Dari metode-metode tersebut, hanya akan dibahas tiga metode diantaranya yaitu *Consistent Deformation Method* disingkat CDM, *Slope Deflection Method* disingkat SDM, *Moment Distribution Method* disingkat MDM. Cara penyelesaian MDM bersifat iteratif atau numerik, sedangkan cara penyelesaian CDM dan SDM pakai sistem persamaan linier.

Hasil perhitungan dari ketiga metode penyelesaian ini seharusnya akan mempunyai hasil yang sama atau perbedaan yang kecil (kalaupun ada), karena kesemuanya adalah metode eksak. Perbedaan yang mungkin muncul disebabkan oleh adanya *error* karena pembulatan atau pemutusan desimal dan banyaknya pengoperasian perhitungan. Akan dilihat seberapa jauh perbedaan hasil dari ketiga metode penyelesaian ini.

Tujuan Penelitian

Penulisan ini dilakukan untuk:

- Memperoleh bentuk formula umum cara menganalisa portal *gable* dengan menggunakan *CDM* dan *SDM* pakai bantuan program matematika Maple.
- Memperoleh bentuk formula umum cara menganalisa portal *gable* dengan menggunakan *MDM* pakai spreadsheet microsoft excel.
- Melihat perbedaan hasil perhitungan dari *CDM*, *SDM* dan *MDM* pada beberapa contoh kasus.

TINJAUAN PUSTAKA

Consistent Deformation Method

Pada metode consistent deformation method, terdapat 2 cara penyelesaian, antara lain:

- Consistent Deformation Method cara utuh dengan bantuan Unit Load Method;
 - Struktur dasar statis tak tentu dijadikan statis tertentu
 - Pilih *RS*
 - Pasang *RF* dan hitung *M_x* (akibat beban luar + *RF*)
 - Pasang 1 *UL* searah *RF* dan hitung *m_x* (akibat 1 *UL*)
 - Syarat deformasi yang konsisten dengan *RF* adalah 0, jadi:
 - $\theta = 0$ jika *RF* momen
 - $\delta_h = 0$ jika *RF* gaya terpusat horisontal
 - $\delta_v = 0$ jika *RF* gaya terpusat vertikal
 - *RF* diperoleh dengan rumus SDK:

$$\theta \text{ atau } \delta = \sum \int M_x * m_x * \frac{dx}{EI} = 0$$
 - Gunakan statika maka perhitungan RP lainnya dan BGD bisa dihitung dan digambar
- Consistent Deformation Method cara potong;
 - Struktur dasar sendi-sendi
 - Pasang momen ujung sebagai *UK*
 - Perletakan sendi tidak ada momen, jadi sendi bukan *UK*
 - $DST = 2 * JEB - JTS - JPS$
 - ✓ **DST = Derajat statis tak tentu**
 - ✓ **JEB = Jumlah elemen batang**
 - ✓ **JTS = Jumlah titik simpul**
 - ✓ **JPS = Jumlah perletakan sendi**

- Hitung *UK*: Perlu SDK yaitu sejumlah PL membentuk SPL
- Untuk struktur bergoyang, selain *RF* ada *displacement(s)* sebagai *UK* dan perlu pers. kes. dari *FBD*.

Slope Deflection Method;

- Struktur dasar jepit-jepit.
- Pasang rotasi ujung batang sebagai *unknown (UK)*.
- Perletakan jepit tidak berotasi, jadi di jepit bukan *UK*.
- $DOF = JTS + JPS + JGY$.
 - ✓ **DOF = Degree of freedom**
 - ✓ **JTS = Jumlah titik simpul**
 - ✓ **JPS = Jumlah perletakan sendi**
 - ✓ **JGY = Jumlah goyangan**
- Hitung *RD* dengan Syarat Persamaan Keseimbangan (sejumlah PL membentuk SPL).
- Untuk struktur bergoyang $JGY \neq 0$, perlu pers. kes. dari *FBD*.

Moment Distribution Method

▪ Moment Distribution Method tanpa goyangan

- Σ momen primer pada joint = *Unbalanced Moment (UBM)*
- *UBM* didistribusikan (arah dibalik) ke tiap Ujung Batang dari simpul
- Besar momen distribusi sebanding dengan angka kekakuan batang
- Angka kekakuan = 4^{*EI}_1 (ujung seberang jepit/simpul) dan 3^{*EI}_1 (ujung sebarang sendi).
- Perbandingan kekakuan dari tiap batang pada suatu simpul = koefisien distribusi (μ). $\Sigma \mu$ di tiap simpul = 1.
- Momen distribusi diinduksikan ke ujung seberang dalam bentuk momen induksi sebesar setengahnya.
- Setelah induksi, terjadi lagi *UBM* di joint seberang yang harus didistribusikan lagi lalu diinduksikan.
- Proses distribusi+induksi ini diulangi lagi dan besar momen akan mengecil terus sampai mendekati nol.
- $M_{akhir} = M_{awal} + \Sigma (M_{distribusi} + M_{induksi})$.

▪ **Moment Distribution Method dengan satu goyangan**

- Tentukan lokasi dan pasang 1 buah pendel (fiktif) penahan goyangan. Beban luar dianalisa seperti pada tanpa goyangan dan hitung gaya pendel. (Keadaan 1)
- Kunci titik-titik simpul terhadap rotasi dan pendel dilepas, timbul momen ujung terjepit akibat goyangan. Besar momen ini $= 3*EI*\delta/l^2$ (jepit-sendi) dan $= 6*EI*\delta/l^2$ (jepit-jepit). Jumlah momen-momen ini pada tiap titik merupakan *UBM*. Lakukan proses distribusi + induksi seperti di atas. Pendel dipasang kembali dan hitung gaya pendel lagi. (Keadaan 2)
- Karena pendel sebenarnya adalah fiktif, maka $GP_1 + k * GP_2 = 0$, dan nilai k diperoleh.
- **Momen_{akhir} = Momen₁ + k * Momen₂**
- **Gaya_{akhir} = Gaya₁ + k * Gaya₂**

▪ **Moment Distribution Method dengan dua goyangan**

- Tentukan lokasi dan pasang pendel (fiktif) sebanyak 2 buah pendel. Beban luar dianalisa seperti pada tanpa goyangan dan hitung GP ↔ (Keadaan 1)
- Kunci titik-titik simpul terhadap rotasi dan biarkan salah satu pendel dilepas dan ada translasi pertama, sehingga timbul M ujung terjepit (sebagai *UBM*). *UBM* diselesaikan melalui distribusi momen + induksi seperti di atas, lalu pendel tadi dipasang dan hitung GP lagi ↔ (Keadaan 2)
- Lakukan hal serupa pada pendel satunya lagi ↔ (Keadaan 3)
- Karena pendel-pendel sebenarnya adalah fiktif, maka:
 $GP1_1 + k_1 * GP1_2 + k_2 * GP1_3 = 0$
dan
 $GP2_1 + k_1 * GP2_2 + k_2 * GP2_3 = 0$
 maka k_1 dan k_2 didapat
- **Momen_{akhir} = Momen₁ + k₁ * Momen₂ + k₂ * Momen₃ dan**
- **Gaya_{akhir} = Gaya₁ + k₁ * Gaya₂ + k₂ * Gaya₃**

APLIKASI

Untuk portal satu goyangan (PG-1GJJ dan PG-1GSS):

- Bentang $l = 15.00$ meter
jumlah gording $m = 14$ buah,
- Overstek kiri dan kanan: $a_1 = 1.30$ meter
 $a_2 = 1.20$ meter
- Tinggi kolom kiri dan kanan: $h_1 = 4.00$ meter,
 $h_2 = 10.00$ meter
- Kekakuan kolom dan balok: $EIk_1 = EI$, $EIk_2 = EI$, $EI_{br} = EI$
- Beban terbagi rata:
 $q_1 = 0.05^t/m$
 $q_2 = 0.02^t/m$
- Beban terpusat: $P_1 = 1.80t$
 $P_2 = 1.25t$
 $P_3 = 1.20t$
 $P_4 = 0.90t$
 $P_5 = 0.80t$.

Untuk portal dua goyangan (PG-2GJJ dan PG-2GSS) adalah:

- Bentang kiri dan kanan: $lt = 30.00$ meter
 $l_1 = 12.00$ meter
- Jumlah gording kiri dan kanan: $m_1 = 12$ buah
 $m_2 = 18$ buah
- Overstek kiri dan kanan: $a_1 = 1.3$ meter
 $a_2 = 1.2$ meter
- Tinggi kolom dan tinggi total: $h_1 = 4.00$ meter
 $h_2 = 10.00$ meter
- Kekakuan kolom dan balok: $EIk_1 = EI$, $EIk_2 = EI$, $EI_{br} = EI$
- Beban terbagi rata: $q_1 = 0.05^t/m$
 $q_2 = 0.02^t/m$
- Beban terpusat: $P_{11}=1.80t$
 $P_{12}=1.40t$
 $P_2=1.25t$
 $P_3=1.20t$
 $P_4=0.90 t$,
 $P_5=0.80t$
 $P_6=1.60t$

HASIL PERHITUNGAN

Berikut ini merupakan persentase hasil perbedaan dari tiap tiap metodedibandingkan menurut:

- SDM

Jenis PG	CDM-CU-SR	CDM-CU-JB	CDM-CU-JBBJ	CDM-CP	SD M	MDM
PG-1GJJ	1.87E-06	2.68E-06	4.04E-06	8.91E-08	0	2.17E-05
PG-1GS	4.72E-07			2.16E-07	0	1.83E-05
PG-2GJJ	1.27E-05	1.01E-05	3.89E-06	2.68E-07	0	2.25E-06
PG-2GS	1.40E-06			5.00E-07	0	3.48E-07

- CDM-CU-SR

Jenis PG	CDM-CU-SR	CDM-CU-JB	CDM-CU-JBBJ	CDM-CP	SDM	MDM
PG-1GJJ	0	2.07E-06	5.62E-06	1.81E-06	1.87E-06	2.36E-05
PG-1GS	0			3.02E-07	4.72E-07	1.78E-05
PG-2GJJ	0	1.39E-05	1.14E-05	1.27E-05	4.60E-06	6.10E-06
PG-2GS	0			2.05E-06	2.68E-06	1.92E-05

PENUTUP

Kesimpulan

Dari pembahasan yang telah diuraikan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Cara menganalisa portal *gable* menggunakan metode *CDM* dan *SDM*, dengan bantuan *program Maple* menghasilkan momen, gaya vertikal dan gaya horisontal serta rotasi dan translasi di titik simpul.
- Cara menganalisa portal *gable* menggunakan metode *MDM*, dengan bantuan *spreadsheet Microsoft Excel* menghasilkan momen, gaya vertikal dan gaya horisontal di titik simpul (cara perhitungan rotasi dan translasi tidak tersedia dalam *MDM*).
- Dengan memasukkan sembarang nilai beban vertikal, bentang, tinggi kolom dan kekakuan, bisa diperoleh momen, gaya vertikal, gaya

horisontal, rotasi dan translasi di titik simpul, serta bidang gaya dalam.

- Metode-metode *CDM* Cara Utuh, *CDM* Cara Potong, *SDM* dan *MDM* semuanya bukan metode pendekatan/hampiran, tetapi adalah cara eksak.
- Persentase selisih yang ditemukan jauh di bawah 1% (pada penelitian ini tidak melebihi 2.36E-05 % atau kurang dari $2.36 \cdot 10^{-5}$ %). Perbedaan yang muncul disebabkan oleh adanya pembulatan angka karena pembatasan desimal dari program yang dipakai.
- Hasil perhitungan metode *CDM* Cara Utuh versi Sendi-Rol, *CDM* Cara Utuh versi Jepit-Bebas, *CDM* Cara Utuh versi Jepit-Bebas dan Bebas-Jepit (diputus di suatu bagian elemen saja) memiliki banyak kesamaan di dalam perhitungan.
- *CDM* Cara Utuh perlu banyak perubahan jika beban terpusat diubah karena persamaan bidang gaya dalamnya mengalami perubahan banyak bagian dan memerlukan perhitungan kembali integrasi bagian demi bagian elemen.
- Jumlah *unknown* pada *CDM* Cara Utuh sering menjadi lebih sedikit pada kasus portal bertingkat banyak, sehingga cukup baik jika jumlah beban terpusat agak sedikit.

Saran

Dari hasil yang telah diperoleh pada penelitian ini, diharapkan ada penelitian lanjut dan disarankan untuk:

- Meninjau beban yang lain seperti beban angin (arah tegak lurus balok *rafter*) dan beban gempa (arah horisontal)
- Mengambil bentuk portal *gable* dengan jumlah bentang lebih dari satu atau bertingkat.
- Memperhitungkan pengaruh perubahan panjang batang sebagai akibat adanya gaya normal
- Deformasi akibat adanya gaya geser diperhitungkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Heck, A. 1993. *Introduction to Maple*. Springer-Verlag. New York, Inc.
- Kartono. 2001. *Maple untuk Persamaan Diferensial*. J&J Learning. Yogyakarta.
- Khosama, L.K. 1995. *Consistent Deformation Method*. Fatek Unsrat.

- Laursen, H.I. 1969. *Structural Analysis*. McGraw-Hill, Inc.
- Norris, C.H., Wilbur, J.B. and Utku, S. 1976. *Elementary Structural Analysis*. McGraw-Hill Inc.
- Soemono, 1993. Ilmu Gaya Bangunan-bangunan Statis Tak Tertentu. Djambatan. Jakarta.
- Soetomo, H.M. 1978. Cross. HMS-ITB. Bandung.
- Tanudjaja, H., 1990. Analisa Balok dan Portal Statis Tak Tentu dengan Metode Slope Deflection. Fatek Unsrat. Manado.
- Tanudjaja, H. dan Khosama, L.K. 2002. Tabel Mekanika Rekayasa Mengenai Momen Primer dan Lendutan. KEMRISTEK-UNSRAT. PDII-LIPI. Jakarta.
- Timoshenko, S.P. and Young, D.H. 1965. *Theory of Structure*. McGraw-Hill Inc.
- Wallah, S.E. 2001. Mekanika Rekayasa IV. Fatek Unsrat. Manado.
- Wang, C.K. 1990. Analisa Struktur Lanjutan. Terjemahan Wirawan Kusuma, Nataprawira Mulyadi. Erlangga. Jakarta.